

#2
18.07.03

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

REC'D 05 SEP 2003

WIPO PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 2 年 1 1 月 8 日

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 2 - 3 2 5 9 0 1
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 3 2 5 9 0 1]

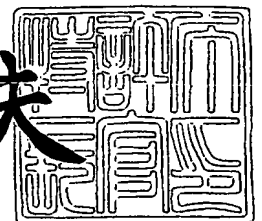
出 願 人
Applicant(s): 株式会社荏原製作所

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 3 年 8 月 2 2 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 EB2965P

【提出日】 平成14年11月 8日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B23H 03/04

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 小島 巖貴

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 桑川 正行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作
所内

【氏名】 鍋谷 治

【特許出願人】

【識別番号】 000000239

【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

【代表者】 依田 正稔

【代理人】

【識別番号】 100091498

【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

【選任した代理人】

【識別番号】 100092406

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100093942

【弁理士】

【氏名又は名称】 小杉 良二

【選任した代理人】

【識別番号】 100109896

【弁理士】

【氏名又は名称】 森 友宏

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【包括委任状番号】 0018636

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電解加工装置及び電解加工方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被加工物に近接自在な加工電極と、
前記被加工物に給電する給電電極と、
前記被加工物を保持する保持部と、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給する流体供給部と、
前記流体の電気伝導度を測定するセンサと、
前記センサにより測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変更する制御部とを備えたことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 2】 前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の電解加工装置。

【請求項 3】 前記制御部は、前記被加工物の電解加工中又は電解加工後に前記加工条件を変更することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の電解加工装置。

【請求項 4】 前記制御部は、前記加工条件として、前記流体供給部により供給される流体の流量を変更することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 5】 加工電極と、
被加工物に給電する給電電極と、
前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、
前記被加工物を保持して前記イオン交換体に接触又は近接させる保持部と、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
前記イオン交換体が配置された被加工物と電極との間に流体を供給する流体供給部と、

前記流体の電気伝導度を測定するセンサと、

前記センサにより測定された電気伝導度に基づいて前記イオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去する汚染除去部とを備えたことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 6】 前記汚染除去部は、前記イオン交換体を再生する再生部であることを特徴とする請求項 5 に記載の電解加工装置。

【請求項 7】 前記汚染除去部は、前記被加工物の電解加工中又は電解加工後に前記汚染物を除去することを特徴とする請求項 5 又は 6 に記載の電解加工装置。

【請求項 8】 前記センサは、前記汚染除去部に配置されることを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 9】 被加工物に近接自在な加工電極と、
前記被加工物に給電する給電電極と、
前記被加工物を保持する保持部と、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、
前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給する流体供給部と、
前記加工電極と前記給電電極との間の抵抗値を測定するセンサと、
前記センサにより測定された抵抗値に基づいて装置の運転を制御する制御部とを備えたことを特徴とする電解加工装置。

【請求項 10】 前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴とする請求項 9 に記載の電解加工装置。

【請求項 11】 前記センサは、前記加工電極又は前記給電電極の近傍に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 12】 前記センサは、前記流体供給部に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 13】 前記センサは、前記流体供給部により供給された流体を排

出する流体排出部に配置されることを特徴とする請求項 1 乃至 1 0 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 1 4】 前記流体供給部により供給される流体は、純水、超純水、又は電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の流体であることを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 のいずれか一項に記載の電解加工装置。

【請求項 1 5】 被加工物を加工電極に接触又は近接させ、
前記加工電極と前記被加工物に給電する給電電極との間に電圧を印加し、
前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給し、
前記流体の電気伝導度を測定し、
前記測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変更することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 1 6】 前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴とする請求項 1 5 に記載の電解加工方法。

【請求項 1 7】 前記被加工物の電解加工中又は電解加工後に前記加工条件を変更することを特徴とする請求項 1 5 又は 1 6 に記載の電解加工方法。

【請求項 1 8】 前記加工条件として、前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される流体の流量を変更することを特徴とする請求項 1 5 乃至 1 7 のいずれか一項に記載の電解加工方法。

【請求項 1 9】 被加工物と加工電極又は前記被加工物に給電する給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、
前記被加工物を前記イオン交換体に接触又は近接させ、
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加し、
前記イオン交換体が配置された被加工物と電極との間に流体を供給し、
前記流体の電気伝導度を測定し、
前記測定された電気伝導度に基づいて前記イオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 2 0】 前記被加工物の電解加工中又は電解加工後に前記汚染物を

除去することを特徴とする請求項 19 に記載の電解加工方法。

【請求項 21】 前記被加工物と前記加工電極又は前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される流体は、純水、超純水、又は電気伝導度が $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の流体であることを特徴とする請求項 15 乃至 20 のいずれか一項に記載の電解加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電解加工装置及び電解加工方法に係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするために使用される電解加工装置及び電解加工方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体ウェハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウム又はアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅 (Cu) を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法 (CVD: Chemical Vapor Deposition)、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨 (CMP: Chemical Mechanical Polishing) などにより不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図 1 (a) 乃至図 1 (c) は、この種の銅配線基板 W の一製造例を工程順に示すものである。図 1 (a) に示すように、半導体素子が形成された半導体基材 1 上の導電層 1a の上に SiO_2 からなる酸化膜や low-k 材膜などの絶縁膜 2 が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール 3 と配線用の溝 4 が形成されている。これらの上に TaN 等からなるバリア膜 5、更にその

上に電解めっきの給電層としてスパッタリングやCVD等によりシード層7が形成されている。

【0004】

そして、基板Wの表面に銅めっきを施すことで、図1(b)に示すように、半導体基材1のコンタクトホール3及び溝4内に銅を充填するとともに、絶縁膜2上に銅膜6を堆積する。その後、化学機械的研磨(CMP)などにより、絶縁膜2上の銅膜6を除去して、コンタクトホール3及び配線用の溝4に充填させた銅膜6の表面と絶縁膜2の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図1(c)に示すように銅膜6からなる配線が形成される。

【0005】

最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。したがって、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に電解加工がある。この電解加工は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。したがって、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

【0007】

図2は、従来の電解加工方法を示す模式図である。図2に示すように、電源200に接続される陽極210と陰極220の表面にそれぞれイオン交換体230、240を取付け、これらの電極210、220と被加工物(例えば銅膜)250との間に純水や超純水などの流体260を供給する。そして、電極210、220の表面に取り付けたイオン交換体230、240に被加工物250を接触又

は近接させ、陽極 210 と陰極 220 との間に電源 200 を介して電圧を印加する。流体 260 中の水分子はイオン交換体 230, 240 により水酸化物イオンと水素イオンに解離され、例えば生成された水酸化物イオンが被加工物 250 の表面に供給される。これにより、被加工物 250 近傍の水酸化物イオンの濃度が高まり、被加工物 250 の原子と水酸化物イオンとが反応して被加工物 250 の表面層の除去加工が行われる。このように、イオン交換体 230, 240 は、流体 260 中の水分子を水素イオンと水酸化物イオンに分解する触媒作用を有すると考えられている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

ここで、イオン交換体を用いた電解加工においては、特に、供給する流体の電気伝導度の変化が被加工物の表面の平坦性に影響を与える。これは、被加工物の凹部と凸部における電気抵抗の差により、被加工物の表面の微小な凹凸の平坦化作用が生じるためである。すなわち、純水や超純水を用いた場合には、純水や超純水の電気伝導度が非常に小さいため、図 3 に示すように、被加工物 300 の凹部 310 と加工電極 320 との間の電気抵抗と、被加工物 300 の凸部 330 と加工電極 320 との間の電気抵抗との差が大きくなる。このため、加工が良好に行われているときには、加工電極 320 に近い凸部 330 と加工電極 320 との間の通電が、電気抵抗の大きい凹部 310 と加工電極 320 との間の通電よりも優先され、凸部 330 付近に加工に供するイオンが供給される。したがって、被加工物 300 の凸部 330 が選択的に電解加工され、この結果、凹部 310 と凸部 330 との間の段差が解消され、被加工物 300 の表面の平坦性が得られる。

【0009】

しかしながら、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン（例えば銅イオン）、添加剤などの汚染物によって流体の電気伝導度は常に変化している。また、これらの汚染物が被加工物 300 の凹部 310 に溜まることにより、この凹部 310 内の流体の電気伝導度が高まり、凹部 310 においても電解加工が行われてしまうことがある。この場合には、凹部 310 及び凸部 330 の双方において同時に電解加工が行われ、凹部 310 と凸部 330 との間

の段差の解消が行われず、上述した平坦化特性が得られない。

【 0 0 1 0 】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたもので、電解加工により生じた加工生成物などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑え、良好な平坦化特性を維持することができる電解加工装置及び電解加工方法を提供することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

このような従来技術における問題点を解決するために、本発明の第 1 の態様は、被加工物に近接自在な加工電極と、上記被加工物に給電する給電電極と、上記被加工物を保持する保持部と、上記加工電極と上記給電電極との間に電圧を印加する電源と、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給する流体供給部と、上記流体の電気伝導度を測定するセンサと、上記センサにより測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変更する制御部とを備えたことを特徴とする電解加工装置である。ここで、上記制御部による加工条件の変更は、上記被加工物の電解加工中又は電解加工後のいずれに行ってもよい。

【 0 0 1 2 】

本発明の第 2 の態様は、被加工物を加工電極に接触又は近接させ、上記加工電極と上記被加工物に給電する給電電極との間に電圧を印加し、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給し、上記流体の電気伝導度を測定し、上記測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変更することを特徴とする電解加工方法である。ここで、上記加工条件の変更は、上記被加工物の電解加工中又は電解加工後のいずれに行ってもよい。

【 0 0 1 3 】

本発明の好ましい一態様は、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴としている。

【 0 0 1 4 】

電解加工において使用される流体の電気伝導度を制御することは、良好な平坦

化特性を維持する上で重要である。本発明によれば、電解加工中又は電解加工後の加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいて加工条件を変更して、流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベル、好ましくは $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、より好ましくは $50\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。

【0015】

本発明の好ましい一態様は、上記制御部は、上記加工条件として、上記流体供給部により供給される流体（上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間に供給される流体）の流量を変更することを特徴としている。例えば、イオン交換体が配置された被加工物と電極との間の流体の電気伝導度が増加した場合に、流体供給部から供給される流体の流量を多くすれば、イオン交換体が配置された被加工物と電極との間に滞留している汚染物を含んだ流体を排出して、流体の電気伝導度を好ましいレベルに維持することができる。

【0016】

本発明の第3の態様は、加工電極と、被加工物に給電する給電電極と、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間に配置されるイオン交換体と、上記被加工物を保持して上記イオン交換体に接触又は近接させる保持部と、上記加工電極と上記給電電極との間に電圧を印加する電源と、上記イオン交換体が配置された被加工物と電極との間に流体を供給する流体供給部と、上記流体の電気伝導度を測定するセンサと、上記センサにより測定された電気伝導度に基づいて上記イオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去する汚染除去部とを備えたことを特徴とする電解加工装置である。

【0017】

ここで、上記汚染除去部を、上記イオン交換体を再生する再生部により構成することができる。また、上記汚染除去部による汚染物の除去は、上記被加工物の電解加工中又は電解加工後のいずれに行ってもよい。更に、上記センサを、上記

汚染除去部に配置してもよい。

【0018】

本発明の第4の態様は、被加工物と加工電極又は上記被加工物に給電する給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置し、上記被加工物を上記イオン交換体に接触又は近接させ、上記加工電極と上記被加工物に給電する給電電極との間に電圧を印加し、上記イオン交換体が配置された被加工物と電極との間に流体を供給し、上記流体の電気伝導度を測定し、上記測定された電気伝導度に基づいて上記イオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去することを特徴とする電解加工方法である。ここで、上記汚染物の除去は、上記被加工物の電解加工中又は電解加工後のいずれに行ってもよい。

【0019】

本発明によれば、電解加工中又は電解加工後の加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいてイオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去して、結果として流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベル、好ましくは $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、より好ましくは $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。

【0020】

本発明の第5の態様は、被加工物に近接自在な加工電極と、上記被加工物に給電する給電電極と、上記被加工物を保持する保持部と、上記加工電極と上記給電電極との間に電圧を印加する電源と、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の少なくとも一方との間に流体を供給する流体供給部と、上記加工電極と上記給電電極との間の抵抗値を測定するセンサと、上記センサにより測定された抵抗値に基づいて装置の運転を制御する制御部とを備えたことを特徴とする電解加工装置である。

【0021】

本発明の好ましい一態様は、上記被加工物と上記加工電極又は上記給電電極の

少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴としている。

【0022】

本発明の好ましい一態様は、上記センサが、上記加工電極又は上記給電電極の近傍に配置されることを特徴としている。

【0023】

本発明の好ましい一態様は、上記センサが、上記流体供給部に配置されることを特徴としている。

【0024】

本発明の好ましい一態様は、上記センサが、上記流体供給部により供給された流体を排出する流体排出部に配置されることを特徴としている。

【0025】

本発明の好ましい一態様は、上記流体供給部により供給される流体は、純水、超純水、又は電気伝導度が $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の流体であることを特徴としている。

【0026】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る電解加工装置の実施形態について図4乃至図14を参照して詳細に説明する。なお、図4乃至図14において、同一又は相当する構成要素には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。また、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、電解加工装置で基板を加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは言うまでもない。

【0027】

図4は、本発明の第1の実施形態における電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図4に示すように、この基板処理装置は、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜（被加工物）としての銅膜6を有する基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部10と、基板Wを反転させる反転機12と、電解加工装置14とを備えている。これらの機器は直列に配置されており、これらの機器の間で基板Wを搬送して授受する搬送装置としての搬送ロボット16がこれらの機器と平行に配置さ

れている。また、電解加工装置 14 による電解加工の際に、加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部 18 がロード・アンロード部 10 に隣接して配置されている。

【0028】

図 5 は図 4 の基板処理装置内の電解加工装置 14 を模式的に示す縦断面図、図 6 は図 5 の平面図である。図 5 に示すように、電解加工装置 14 は、上下動可能かつ水平方向に揺動自在なアーム 20 と、アーム 20 の自由端に垂設されて基板 W を下向き（フェイスダウン）に吸着保持する基板保持部 22 と、基板保持部 22 の下方に配置される円板状の電極部 24 と、電極部 24 に接続される加工用電源 26 とを備えている。本実施形態では、電極部 24 の直径は、基板保持部 22 で保持する基板 W の直径の 2 倍以上に設定されており、基板 W の全面を電解加工するようになっている。

【0029】

アーム 20 は、揺動用モータ 28 に連結された揺動軸 30 の上端に取り付けられており、揺動用モータ 28 の駆動に伴って水平方向に揺動するようになっている。また、この揺動軸 30 は、上下方向に延びるボールねじ 32 に連結されており、ボールねじ 32 に連結された上下動用モータ 34 の駆動に伴ってアーム 20 とともに上下動するようになっている。なお、揺動軸 30 にエアシリンダを連結し、このエアシリンダの駆動により揺動軸 30 を上下動してもよい。

【0030】

基板保持部 22 は、基板保持部 22 で保持した基板 W と電極部 24 とを相対移動させる第 1 の駆動部としての自転用モータ 36 にシャフト 38 を介して接続されており、この自転用モータ 36 の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム 20 は上下動及び水平方向に揺動可能となっており、基板保持部 22 はアーム 20 と一体となって上下動及び水平方向に揺動可能となっている。また、電極部 24 の下方には、基板 W と電極部 24 とを相対移動させる第 2 の駆動部としての中空モータ 40 が設置されており、電極部 24 はこの中空モータ 40 に直結されている。これにより、電極部 24 は、中空モータ 40 の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。

【0031】

図5及び図6に示すように、電極部24には、扇形の加工電極42と給電電極44とが交互に配置されており、これらの加工電極42及び給電電極44の上面には、加工電極42及び給電電極44の表面を一体に覆う膜状のイオン交換体46（図6においては図示せず）が取り付けられている。加工電極42及び給電電極44は、スリップリング48を介して加工用電源26に接続されている。本実施形態では、加工電極42は加工用電源26の陰極に、給電電極44は加工用電源26の陽極に接続されているが、加工材料によっては、加工用電源26の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、加工用電源26の陰極に接続した電極が加工電極となり、陽極に接続した電極が給電電極となるが、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、加工用電源26の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

【0032】

ここで、加工電極42及び給電電極44は、電解反応により、酸化又は溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物又は導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金又はイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止することができる。

【0033】

電極部 24 の加工電極 42 及び給電電極 44 の上面に取り付けられたイオン交換体 46 は、例えば、アニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4 級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3 級以下のアミノ基）を担持したものでよい。

【0034】

ここで、例えば強塩基性アニオン交換能を付与した不織布は、繊維径 20 ～ 50 μm で空隙率が約 90 % のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して 4 級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行うためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。したがって、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で 500 % が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で 5 meq / g が可能である。

【0035】

強酸性カチオン交換能を付与した不織布は、上記強塩基性アニオン交換能を付与する方法と同様に、繊維径 20 ～ 50 μm で空隙率が約 90 % のポリオレフィン製の不織布に、 γ 線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で 500 % が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で 5 meq / g が可

能である。

【0036】

イオン交換体46の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、又はその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（ γ 線と電子線）を先に素材に照射する（前照射）ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線（ γ 線、電子線、紫外線）を照射（同時照射）することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

【0037】

このように、イオン交換体46をアニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成することで、純水又は超純水や電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となって、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水酸化物イオンが純水又は超純水や電解液等の液体の移動に伴って効率よく加工電極42の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

【0038】

ここで、イオン交換体46をアニオン交換能又はカチオン交換能の一方を付与したもののみで構成すると、電解加工できる被加工材料が制限されるばかりでなく、極性により不純物が生成しやすくなる。そこで、アニオン交換能を有するアニオン交換体とカチオン交換能を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換体46自体にアニオン交換能とカチオン交換能の双方の交換基を付与するようにしたりしてもよく、これにより、被加工材料の範囲を拡げるとともに、不純物を生成しにくくすることができる。

【0039】

図6に示すように、電極部24の上方には、電極部24の径方向に沿って延びる純水噴射ノズル50が配置されている。この純水噴射ノズル50は、純水や超純水などの流体を電極部24の上面に供給する複数の噴射口50aを有しており、電極部24に純水や超純水などの流体を供給する純水供給部を構成している。ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板Wの表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。更に、電解によって溶解した銅イオン等が、イオン交換体46にイオン交換反応で即座に捕捉されるため、溶解した銅イオン等が基板Wの他の部分に再度析出したり、酸化されて微粒子となり基板Wの表面を汚染したりすることがない。

【0040】

また、純水又は超純水の代わりに電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、 NaCl や Na_2SO_4 等の中性塩、 HCl や H_2SO_4 等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適宜選択して使用することができる。

【0041】

更に、純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下にした液体を使用してもよい。このように、純水又は超純水に界面活性剤を添加することで、基板Wとイオン交換体46の界面にイオンの移動を防ぐ一様な抑制作用を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、 100ppm 以下が好ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

【0042】

例えば、イオン交換体46としてカチオン交換基を付与したものを使用して銅の電解加工を行うと、加工終了後に銅がイオン交換体（カチオン交換体）46のイオン交換基を飽和しており、次の加工を行うときの加工効率が悪くなる。また、イオン交換体46としてアニオン交換基を付与したものを使用して銅の電解加工を行うと、イオン交換体（アニオン交換体）46の表面に銅の酸化物の微粒子（汚染物）が生成されて付着し、次の処理基板の表面を汚染するおそれがある。そこで、本実施形態における電解加工装置14は、図5に示すように、イオン交換体46の表面又は内部の汚染物を除去する汚染除去部として、イオン交換体46を再生する再生部52を備えており、この再生部52により基板Wの加工中又は加工後にイオン交換体46を再生することで、上述した弊害を除去するようになっている。

【0043】

図7は、図5の電解加工装置14の再生部52を模式的に示す縦断面図である。図7に示すように、再生部52は、上下動可能かつ水平方向に揺動自在なアーム54と、アーム54の自由端に垂設されて再生電極56を保持する円板状の再生電極保持部58と、再生電極56及び電極部24に接続される再生用電源60（図5参照）とを備えている。

【0044】

アーム54は、揺動用モータ62に連結された揺動軸64の上端に取り付けられており、揺動用モータ62の駆動に伴って水平方向に揺動するようになっている。また、この揺動軸64は、上下方向に延びるボールねじ66に連結されており、ボールねじ66に連結された上下動用モータ68の駆動に伴ってアーム54とともに上下動するようになっている。このように、アーム54は上下動及び水平方向に揺動可能となっており、再生電極保持部58はアーム54と一体となつて上下動及び水平方向に揺動可能となっている。なお、揺動軸64にエアシリンダを連結し、このエアシリンダの駆動により揺動軸64を上下動してもよい。

【0045】

再生電極保持部58には下方に開口する円形の凹部58aが形成されており、

この凹部 58 a の上面には円板状の再生電極 56 が保持されている。凹部 58 a の下方開口端は隔壁 70 により閉塞されており、これにより、再生電極保持部 58 の内部に隔壁 70 で区画された流路 72 が形成されている。また、再生電極保持部 58 の直径方向に沿った両端部には、流路 72 の外周部に連通する流体供給口 58 b と流体排出口 58 c がそれぞれ形成されており、この流体供給口 58 b と流体排出口 58 c は、流体供給管 74 と流体排出管 76 にそれぞれ接続されている。イオン交換体 46 の再生時には、流体供給管 74 から流路 72 内に流体（液体）が供給され、この流路 72 内に供給された液体は、流路 72 の内部を満たして該液体内に再生電極 56 を浸漬させながら、流路 72 を一方向に流れて流体排出管 76 から順次外部に排出されるようになっている。

【0046】

ここで、再生電極 56 は再生用電源 60 の一方の電極（例えば陰極）に接続され、電極部 24 の加工電極 42 及び給電電極 44 はスリップリング 78（図 5 参照）を介して再生用電源 60 の他方の電極（例えば陽極）に接続されている。アーム 54 を下降させることによって、再生電極保持部 58 の隔壁 70 を加工電極 42 及び給電電極 44 上のイオン交換体 46 の表面（上面）に接触又は近接させ、再生用電源 60 によって再生電極 56 と加工電極 42 及び給電電極 44 との間に電圧を印加すると、イオン交換体 46 に付着した銅等の汚染物の溶解が促進され、イオン交換体 46 が再生される。

【0047】

本実施形態では、隔壁 70 として、再生されるイオン交換体 46 と同じイオン交換基を有するイオン交換体を使用している。すなわち、電極部 24 のイオン交換体 46 としてカチオン交換基を有するイオン交換体を使用する場合には、隔壁 70 としてカチオン交換基を有するイオン交換体を使用し、電極部 24 のイオン交換体 46 としてアニオン交換基を有するイオン交換体を使用する場合には、隔壁 70 としてアニオン交換基を有するイオン交換体を使用する。なお、再生されるイオン交換体 46 がカチオン交換基を有するイオン交換体である場合には、再生電極 56 は再生用電源 60 の陰極に接続され、アニオン交換基を有するイオン交換体である場合には、再生電極 56 は再生用電源 60 の陽極に接続される。

【0048】

ここで、隔壁70は、再生されるイオン交換体46から除去される不純物イオンの移動の妨げとなることなく、しかも隔壁70と再生電極56との間を流れる流路72内部の流体（流体中のイオンも含む）が再生されるイオン交換体46側へ透過することを防止できるものであることが好ましい。具体的には、隔壁70のイオン交換体として、カチオン又はアニオンの一方を選択的に透過させることができる膜状のイオン交換体を用いることで、隔壁70と再生電極56との間を流れる流体が再生されるイオン交換体46側に進入することを防止することができる。

【0049】

流路72内に供給する流体は、再生されるイオン交換体46から移動し隔壁70を通過したイオンを該流体の流れで系外に排出するためのものである。このような流体としては、例えば、電解液で、導電率が高く、かつ再生されるイオン交換体46から除去されるイオンとの反応により難溶性又は不溶性の化合物を生成しない流体であることが好ましい。すなわち、誘電率が高く、かつイオン交換体46から除去されるイオンとの反応により不溶性の化合物を生じない流体を流路72に供給することで、この流体の電気抵抗を下げて再生部52の消費電力を少なく抑え、しかも、不純物イオンとの反応で不溶性の化合物（2次生成物）が生成されて隔壁70に付着することを防止することができる。この流体は、排出する不純物イオンの種類に応じて適宜選択されるが、例えば、銅の電解加工に使用したイオン交換体を再生する場合には、濃度が1wt%以上の硫酸を使用することができる。

【0050】

ここで、図5に示すように、電極部24には、基板Wの近傍に存在する流体の電気伝導度を測定するセンサ（プローブ）80が設置されている。このセンサ80は、ケーブル82を介して、加工状態を制御する制御部84に接続されており、制御部84はセンサ80により測定された電気伝導度に基づいて加工状態を制御できるようになっている。例えば、制御部84は、センサ80により測定された電気伝導度に基づいて、純水噴射ノズル50から噴射する流体の流量を制御し

たり、再生部 52 の起動及び停止を行ったりすることができる。

【0051】

次に、本実施形態における基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図 1（b）に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜 6 を形成した基板 W を収納したカセットをロード・アンロード部 10 にセットし、このカセットから 1 枚の基板 W を搬送ロボット 16 で取り出す。搬送ロボット 16 は、取り出した基板 W を必要に応じて反転機 12 に搬送し、基板 W の導電体膜（銅膜 6）を形成した表面が下を向くように反転させる。次に、搬送ロボット 16 は反転させた基板 W を受け取り、この基板 W を電解加工装置 14 に搬送する。

【0052】

そして、電解加工装置 14 の基板保持部 22 により基板 W を吸着保持し、アーム 20 を揺動させて基板 W を保持した基板保持部 22 を電極部 24 の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ 34 を駆動して基板保持部 22 を下降させ、この基板保持部 22 で保持した基板 W を電極部 24 のイオン交換体 46 の表面に接触又は近接させる。この状態で、中空モータ 40 を駆動して電極部 24 を回転させるとともに、自転用モータ 36 を駆動して基板保持部 22 及び基板 W を回転させ、基板 W と電極部 24 とを相対運動させる。このとき、純水噴射ノズル 50 の噴射口 50a から基板 W と電極部 24 との間に純水又は超純水を噴射する。そして、加工用電源 26 により加工電極 42 と給電電極 44 との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体 46 により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板 W の表面の導電体膜（銅膜 6）の電解加工を行う。

【0053】

この電解加工においては、超純水等の流体中の水分子がイオン交換体 46 により水酸化物イオンと水素イオンに解離され、例えば生成された水酸化物イオンは、基板 W と加工電極 42 との間の電界と超純水等の流体の流れによって、基板 W の加工電極 42 と対面する表面に供給される。このように、基板 W の近傍の水酸化物イオンの密度を高め、基板 W の原子と水酸化物イオンを反応させる。反応に

よって生成された反応物質は、流体中に溶解し、基板Wの表面に沿った流体の流れによって基板Wの表面から除去される。これにより、基板Wの表面層の除去加工が行われる。

【0054】

電解加工完了後、加工用電源26の接続を切り、電極部24及び基板保持部22の回転を停止させ、しかる後、基板保持部22を上昇させ、アーム20を移動させて基板Wを搬送ロボット16に受け渡す。基板Wを受け取った搬送ロボット16は、必要に応じて反転機12に搬送して反転させた後、基板Wをロード・アンロード部10のカセットに戻す。

【0055】

ここで、超純水のような液自身の電気抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体46を基板Wに接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。この「接触」は、例えばCMPのように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ことを意味するものではない。したがって、本実施形態における電解加工装置では、基板Wの電極部24への接触又は近接には上下動用モータ34を用いており、例えばCMP装置において基板と研磨部材を積極的に押し付ける押圧機構は具備していない。すなわち、CMPにおいては、一般に20～50kPa程度の押圧力で基板を研磨面に押し付けているが、本実施形態の電解加工装置では、例えば、20kPa以下の圧力でイオン交換体46を基板Wに接触させればよく、10kPa以下の圧力でも十分除去加工効果が得られる。

【0056】

図8は、電解加工における基板Wの加工量と基板W上の残留段差との関係を示すグラフである。図8から、供給する流体の電気伝導度が大きいときは、電解加工により加工しても残留段差が解消されず、電気伝導度が小さくなるにつれて、より効果的に残留段差が解消されていることがわかる。すなわち、図9に示すように、供給する流体の電気伝導度が小さいほど良好な平坦化特性が得られる。このような観点から、本実施形態では、上述したセンサ80によって流体の電気伝導度を測定（モニタリング）し、測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変

更して、流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベルに維持している。

【0057】

本実施形態では、例えば $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を、平坦化特性に影響を与えないレベルとして設定している。すなわち、図9において、第1の閾値Aを $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ とし、 $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の領域は電気伝導度の修正が可能な領域（修正可能領域）とし、 $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ よりも大きな領域は電気伝導度の修正が不可能な領域（修正不能領域）としている。更に、図9の修正可能領域における電気伝導度の第2の閾値Bとして $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ を、第3の閾値Cとして $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ を設定している。

【0058】

図10は、本実施形態における流体の電気伝導度のモニタリング工程を示すフローチャートである。電解加工中に、センサ80によって流体（純水又は超純水）の電気伝導度が測定され、測定された電気伝導度が制御部84に送られる。制御部84では、測定された流体の電気伝導度が上記閾値C（ $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）よりも大きいか否かが判断される（ステップ1）。測定された電気伝導度が閾値C（ $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）以下である場合には、平坦化特性に影響を与えないレベルにあるといえるので、そのまま電解加工装置14の運転が継続される。

【0059】

一方、測定された電気伝導度が閾値C（ $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）よりも大きい場合には、制御部84により加工条件が変更される（ステップ2）。例えば、制御部84は、純水噴射ノズル50から噴射する流体の流量を変更する。イオン交換体46と基板Wとの間の流体の電気伝導度が増加した場合に、純水噴射ノズル50から噴射する流体の流量を多くすれば、イオン交換体46と基板Wとの間に滞留している汚染物を含んだ流体を排出して、イオン交換体46と基板Wとの間の流体の電気伝導度を好ましいレベルに維持することができる。

【0060】

ステップ2において加工条件が変更された後、測定された電気伝導度が閾値B（ $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ ）よりも大きいか否かが判断される（ステップ3）。測定され

た電気伝導度が閾値B ($50 \mu\text{S}/\text{cm}$) 以下である場合には、平坦化特性に影響を与えないレベルにあるとして、そのまま電解加工装置14の運転を継続する。一方、測定された電気伝導度が閾値B ($50 \mu\text{S}/\text{cm}$) よりも大きい場合には、例えば基板処理装置に設置された表示装置に警告が表示され(ステップ4)、制御部84により再び加工条件が変更される(ステップ5)。

【0061】

ステップ5において制御部84により加工条件が変更された後、測定された電気伝導度が閾値A ($500 \mu\text{S}/\text{cm}$) よりも大きいかが判断される(ステップ6)。測定された電気伝導度が閾値A ($500 \mu\text{S}/\text{cm}$) 以下である場合には、平坦化特性に影響を与えないレベルにあるとして、そのまま電解加工装置14の運転を継続する。一方、測定された電気伝導度が閾値A ($500 \mu\text{S}/\text{cm}$) よりも大きい場合には、例えば上述した表示装置に警告が表示され(ステップ7)、電気伝導度の修正が不可能であるとして電解加工装置14の運転が停止される。

【0062】

このように、本発明に係る電解加工装置によれば、加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいて加工条件を変更して、流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベル、好ましくは $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、より好ましくは $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。なお、上述した流体の電気伝導度のモニタリングは、基板Wの電解加工中又は電解加工後のいずれにおいても行うことができる。

【0063】

上述した例では、加工条件を変更することによって、イオン交換体46と基板Wとの間の流体の電気伝導度を所定のレベルに維持しているが、図10のステップ2又はステップ5において、加工条件を変更する代わりに、再生部52を起動して、再生部52によるイオン交換体46の再生を行ってもよい。このように、

再生部 52 によってイオン交換体 46 を再生すれば、イオン交換体 46 の表面又は内部の汚染物を除去し、結果としてイオン交換体 46 と基板 W との間の流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベルに維持することができる。次に、このような再生部 52 によるイオン交換体 46 の再生処理について説明する。

【0064】

再生処理においては、まず、再生部 52 のアーム 54 を揺動させて再生部 52 を電極部 24 の上方に移動させ、更に再生部 52 を下降させて、再生部 52 の隔壁 70 の下面を、電極部 24 の上面のイオン交換体 46 の上面に近接又は接触させる。この状態で、再生電極 56 に再生用電源 60 の一方の電極（例えば陰極）を接続し、加工電極 42 及び給電電極 44 に他方の電極（例えば陽極）を接続して、再生電極 56 と電極 42, 44 との間に電圧を印加するとともに、中空モータ 40 を駆動して電極部 24 を回転させる。なお、再生処理においては給電電極 44 には通電しなくてもよい。

【0065】

このとき、純水噴射ノズル 50 から純水又は超純水を電極部 24 の上面に噴射するとともに、再生電極保持部 58 の内部に形成された流路 72 内に液体を供給する。これによって、隔壁 70 と電極部 24 との間に純水又は超純水を満たして、再生するイオン交換体 46 を純水又は超純水中に浸漬させ、同時に、流路 72 内に液体を満たして該液体中に再生電極 56 を浸漬させ、この液体が流路 72 内を一方向に流れて流体排出口 58c から外部に流出するようにする。

【0066】

上述したように、再生電極 56 は、イオン交換体 46（及び隔壁 70）の極性と逆になるように制御される。すなわち、イオン交換体 46（及び隔壁 70）としてカチオン交換体を使用した場合には、再生電極 56 が陰極で、電極 42, 44 が陽極となり、イオン交換体 46（及び隔壁 70）としてアニオン交換体を使用した場合には、再生電極 56 が陽極で、電極 42, 44 が陰極となるように制御される。

【0067】

このようにして、イオン交換体 46 のイオンを再生電極 56 に向けて移動させ

、隔壁 70 を通過させて流路 72 に導き、この流路 72 に移動したイオンをこの流路 72 内に供給される液体の流れで系外に排出して、イオン交換体 46 の再生を行う。このとき、イオン交換体 46 としてカチオン交換体を使用した場合には、イオン交換体 46 に取り込まれたカチオンが隔壁 70 を通過して流路 72 の内部に移動し、アニオン交換体を使用した場合には、イオン交換体 46 に取り込まれたアニオンが隔壁 70 を通過して流路 72 の内部に移動して、イオン交換体 46 が再生される。

【0068】

再生処理完了後、再生用電源 60 と電極 42, 44 及び再生電極 56 との電気的接続を切断し、再生部 52 を上昇させた後、電極部 24 の回転を停止させる。その後、アーム 54 を揺動させて再生部 52 を元の待避位置に戻す。本実施形態では、図 5 に示すように、電極部 24 の直径が、基板保持部 22 で保持する基板 W の直径の 2 倍以上になっているので、基板 W を電解加工しながら、再生部 52 による再生処理を行うことができる。

【0069】

このように、本発明に係る電解加工装置によれば、電解加工中又は電解加工後の加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいてイオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去して、結果として流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベル、好ましくは $500 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、より好ましくは $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下に維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。

【0070】

ここで、流体の電気伝導度を測定するセンサ 80 は、基板 W に形成されたパターンの溝（図 3 の凹部 310）の内部にある流体の電気伝導度を直接測定できることが理想的であるが、現実には溝の内部や溝の凸部（図 3 の凸部 330）にこのようなセンサを設置することは困難である。したがって、本実施形態では、基板 W の近傍に位置する電極部 24 にセンサ 80 を設置している。センサ 80 の位

置はこれに限られるものではなく、例えば、流体を排出する流体排出部にセンサ 80 を配置してもよい。更に、排出された流体を再利用（リサイクル）する場合には、流体を供給する流体供給部にセンサ 80 を配置することもできる。

【0071】

図 11 は、本発明の第 2 の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。本実施形態における電解加工装置 114 においては、電極部 124 に取り付けるイオン交換体 46 としてカチオン交換体を使用し、加工電極 42 の表面を覆う位置に位置するイオン交換体（カチオン交換体）46 を部分的に再生するようにしている。すなわち、加工電極 42 は電極部 124 に設けた凹部 124a 内に、給電電極 44 は電極部 124 に設けた凹部 124b 内にそれぞれ埋込まれている。この加工電極 42 を埋込む凹部 124a は、給電電極 44 を埋込む凹部 124b より深くなっており、ここに再生部 152 が設けられている。なお、本実施形態では、加工電源 26 が再生用電源を兼ねており、加工電極 42 が再生電極を兼ねている。

【0072】

図 12 は、図 11 に示す電解加工装置の要部の拡大図である。図 12 に示すように、再生部 152 は、凹部 124a の開口端を閉塞する隔壁 170 を有しており、これにより、加工電極 42 と隔壁 170 との間に隔壁 170 で区画された流路 172 が形成されている。この隔壁 170 は、上述した第 1 の実施形態における隔壁 70 と同様に、再生されるイオン交換体 46 から除去される不純物イオンの移動の妨げとなることなく、しかも隔壁 170 と加工電極 42 との間を流れる流路 172 内部の液体（流体中のイオンも含む）が再生されるイオン交換体 46 側へ透過することを防止できるものであることが好ましい。

【0073】

また、電極部 124 には、水平方向に延びて流路 172 の外周部に連通する流体供給口 124c と、流路 172 の外周端部から水平方向に延びて電極部 124 の外周端面で開口する流体排出口 124d がそれぞれ形成されている。この流体供給口 124c は、中空モータ 40 の中空部内を延びる流体供給管 174 を介して汚染物排出用の流体を供給する流体供給部 178 に接続されている。イオン交

換体 46 の再生時には、流体供給口 124c から流路 172 内に排出用流体（液体）が供給され、この流路 172 内に供給された液体は、流路 172 の内部を満たして該液体内に加工電極 42 を浸漬させながら、流路 172 を一方向に流れて流体排出口 76 から順次外部に排出されるようになっている。

【0074】

流路 172 内に供給する流体は、再生されるイオン交換体 46 から移動し隔壁 170 を通過したイオンを該流体の流れで系外に排出するためのものである。このような流体としては、電気伝導度（誘電率）が、例えば $50 \mu\text{S}/\text{cm}$ 以上と高く、かつイオン交換体 46 から除去されるイオンとの反応により不溶性の化合物を生成しない流体であることが好ましい。このように、電気伝導度（誘電率）が高く、かつイオン交換体 46 から除去されるイオンとの反応により不溶性の化合物を生じない流体を供給することで、この流体の電気抵抗を下げて再生部 152 の消費電力を少なく抑え、しかも、イオン交換体 46 との反応で難溶性もしくは不溶性の化合物（2 次生成物）が生成されて隔壁 170 に付着することを防止することができる。この流体は、排出する不純物イオンの種類によって適宜選択されるが、例えば、銅の電解加工に使用したイオン交換体を再生する場合には、濃度が 1 wt % 以上の硫酸を使用することができる。

【0075】

また、本実施形態では、図 12 に示すように、電極部 124 の中央部に貫通孔 125 が形成されており、この貫通孔 125 は、中空モータ 40 の中空部内を延びる流体供給管 180 を介して、純水、より好ましくは超純水等の電解加工用の流体を供給する流体供給部 182 に接続されている。これによって、純水又は超純水等の加工用流体は、この貫通孔 125 を通して電極部 124 の上面に供給された後、吸水性を有するイオン交換体 46 を通じて加工面全域に供給されるようになっている。

【0076】

本実施形態では、再生部 152 の隔壁 170 として、再生されるイオン交換体 46 と同じイオン交換基を有するイオン交換体、すなわちカチオン交換体を使用している。これにより、イオン交換体（カチオン交換体）46 から出たイオンの

みを隔壁（イオン交換体）170を透過させ、流路172内を流れる排出用流体中のイオンが隔壁（イオン交換体）170を透過してイオン交換体46側に移動することを防止することができる。なお、イオン交換体46として、アニオン交換基を有するアニオン交換体を使用している場合には、隔壁（イオン交換体）としてアニオン交換体を使用することが好ましい。

【0077】

図13は、図11の電解加工装置の再生部152の要部拡大図である。図13に示すように、本実施形態では、加工電極42との間に流路172を構成する隔壁（イオン交換体）170として、表面平滑性と柔軟性を有する表面の薄いフィルム状のイオン交換体からなる表面層170aと、イオン交換容量の大きなイオン交換体からなる裏面層170bとからなる2層構造のものを使用している。更に、流路172の内部には、隔壁170を平坦に支持する支持体184を配置している。この支持体184の所定の位置には貫通孔184aが形成されている。

【0078】

このように、隔壁170のイオン交換体を積層構造とすることで、イオン交換体からなる裏面層170bを介して、隔壁170全体としてのイオン交換容量を増大させ、しかも隔壁170に弾性を持たせて、加工の際に隔壁170に過度の圧力が加わって隔壁170が損傷してしまうことを防止することができる。ここで、イオン交換体からなる表面層170aとしては、流路172に沿って流れる排出用流体として電解液を用いる場合は、非通液性を有し、イオン透過性を有するものが用いられる。排出用流体として、イオン交換液を用いる場合は、表面層170aは、排出流体中のイオン交換体が漏れなければ、水は透過してもよい。また、隔壁170を支持する支持体184を設けることにより、流路172を確保することができ、かつその上にイオン交換体を積層することができる。

【0079】

図14は、図11の電解加工装置の再生部152の変形例を示す要部拡大図である。この例では、上述した2層構造からなる隔壁170の裏面に、イオン交換体からなる膜状の隔壁膜170cを取付け、この隔壁膜170cを取り付けた隔壁170を、流路172内に配置した支持体184で支持したものである。この

ように、隔壁 170 を支持体 184 で支持することにより、隔壁 170 として、薄いフィルム状のものを使用しても、隔壁 170 をウェハ W に柔軟に接触させることができる。この柔軟とは、被加工物の寸法や相對運動による被加工面のバラツキに対応するために求められるものである。

【0080】

ここで、支持体 184 には多数の貫通孔 184 a が形成されている。これにより、隔壁 170 に張りを持たせ、しかも隔壁 170 に弾性を持たせることで、基板等の被加工物 W がその全面に亘って隔壁 170 の表面に接触するようにすることができる。図 14 に示す例では、表面層 170 a と隔壁膜 170 c との 2 層構造により隔壁の機能が發揮され、万が一、表面層 170 a と隔壁膜 170 c とのいずれか一方が破れてしまった場合にも排出用流体が被加工物 W 側へ漏れ出ないので安全である。

【0081】

そして、隔壁 170 の交換容量が限界に達した時に、流路 172 に供給され該流路 204 に沿って流れる排出用流体にイオン性の生成加工物を取り込まれて隔壁 170 が再生され、これにより、加工電極 42 の表面を覆っている隔壁 170 の交換等の手間を省くことができる。なお、ここで、表面層 170 a、裏面層 170 b にイオン交換体を用いているのは、電気化学的不活性、弾性、イオンを通す、という条件を兼ね備えているからであり、この条件を満たすものであれば他の材質を用いてもよい。

【0082】

なお、支持体 184 を、加工電極 42 と異なる電気化学的に不活性な絶縁物質、例えばフッ素樹脂などで構成することにより、被加工物への給電がイオン交換液を通して行われるので、排出用流体への加工生成物の取込みを効率よく行うことができる。また、この隔壁膜 170 c をイオン交換体で構成して、その上を純水が、下を排出用流体が、即ち裏面層 170 b に沿って純水が、流路 172 に沿って排出用流体がそれぞれ流れるようにしてもよい。これにより、一般的に有害な排出用流体を加工面より遠ざけて、加工面のイオン交換体に破損が起きても隔壁膜 170 c により排出用流体が流れ出ることを防止することができる。ここで

、イオン交換体からなる表面層 170a としては、流路 172 に沿って流れる排出用流体として電解液を用いる場合は、非通液性を有し、イオン透過性を有するものが用いられる。排出用流体として、イオン交換液を用いる場合は、表面層 170a は、排出流体中のイオン交換体が漏れなければ、水は透過してもよい。

【0083】

ここで、図 11 に示すように、本実施形態の電極部 124 には、加工電極 42 と給電電極 44 との間の抵抗値を測定して、流路 172 からの排出用流体の漏れを検出するセンサ 186 が設置されている。このセンサ 186 は、装置の運転を制御する制御部 84 に接続されており、制御部 84 はセンサ 186 により測定された抵抗値に基づいて装置の運転を制御できるようになっている。隔壁 170 が破損して流路 172 を流れる排出用流体が外部に漏れて加工部側に漏れると、加工部における電気伝導度が急激に高くなる。そこで、加工電極 42 と給電電極 44 との間の抵抗値を監視することで、流路 172 に漏れが発生したか否かを検知し、漏れが発生したときに、素早く運転を停止することで、この排出用流体の漏れが加工効率や加工均一性に悪影響を与えることを防止することができる。

【0084】

電解加工時には、加工電極 42 と給電電極 44 との間に加工用電源 26 から所定の電圧を印加するとともに、中空モータ 40 を駆動して電極部 124 を回転させるとともに、自転用モータ 36 を駆動して基板保持部 22 及び基板 W を回転させ、基板 W と電極部 124 とを相対運動させる。貫通孔 125 を通じて、電極部 124 の下側から該電極部 124 の上面に純水又は超純水等の加工用流体を供給し、加工電極 42 及び給電電極 44 と基板 W との間に純水、超純水、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体又は電解液を満たす。これによって、電極反応及びイオン交換体内のイオンの移動が起こり、基板 W に設けられた、例えば図 1 (b) に示す銅膜 6 等の電解加工を行う。ここに、純水又は超純水等の加工用流体がイオン交換体 46 の内部を流れるようにすることで、効率のよい電解加工を行うことができる。

【0085】

イオン交換体 46 の再生時には、流体供給口 124c を通じて、再生部 152

に設けた流路 172 内に汚染物排出用の排出用流体を供給する。これによって、流路 172 内に排出用流体を満たして該液体中に加工電極 42 を浸漬させ、この排出用流体が流路 172 内を直径方向外方に向けて一方向に流れて流体排出口 124d から外部に流出するようにする。これによって、イオン交換体 46 を固体電解質としたイオン交換反応により、イオン交換体 46 のイオンを加工電極 42 に向けて移動させ、隔壁 170 を通過させて流路 172 に導き、この流路 172 に移動したイオンをこの流路 172 内に供給される排出用流体の流れで系外に排出して、イオン交換体 46 の再生を行う。この時、イオン交換体 46 として、カチオン交換体を使用した場合には、イオン交換体 46 に取り込まれたカチオンが隔壁 170 を通過して流路 172 の内部に移動し、アニオン交換体を使用した場合には、イオン交換体 46 に取り込まれたアニオンが隔壁 170 を通過して流路 172 の内部に移動して、イオン交換体 46 が再生される。

【0086】

ここで、上述したように、隔壁 170 として、再生に付するイオン交換体 46 と同じイオン交換基を有しているイオン交換体を使用することで、イオン交換体 46 中の不純物イオンの隔壁（イオン交換体）92 の内部の移動が隔壁（イオン交換体）170 によって妨げられることを防止して、消費電力が増加することを防止し、しかも隔壁 170 と加工電極 42 との間を流れる排出用流体（液体中のイオンも含む）のイオン交換体 46 側への透過を阻止して、再生後のイオン交換体 46 の再汚染を防止することができる。更に、隔壁 170 と加工電極 42 との間に、電気伝導度（導電率）が高くかつイオン交換体 46 から除去されるイオンとの反応により不溶性の化合物を生成しない排出用流体を供給することで、この排出用流体の電気抵抗を下げて再生部 152 の消費電力を少なく抑え、しかも不純物イオンとの反応で生成された不溶性の化合物（2 次生成物）が隔壁 170 に付着して加工電極 42 と給電電極 44 との間の電気抵抗が変化し、制御が困難となることを防止することができる。

【0087】

これまで本発明の一実施形態について説明したが、本発明は上述の実施形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよ

いことは言うまでもない。

【0088】

【発明の効果】

上述したように、本発明によれば、電解加工中又は電解加工後の加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいて加工条件を変更して、流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベルに維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。

【0089】

また、電解加工中又は電解加工後の加工雰囲気中の流体の電気伝導度を測定し、測定した流体の電気伝導度に基づいてイオン交換体の表面又は内部の汚染物を除去して、結果として流体の電気伝導度を平坦化特性に影響を与えないレベルに維持することができる。したがって、電解加工により生じた加工生成物やイオン交換膜の残渣、金属イオン、添加剤などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑えて、常に良好な平坦化特性を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

【図2】

従来の電解加工方法を示す模式図である。

【図3】

電解加工における流体の電気伝導度の変化の影響を説明するための模式図である。

【図4】

本発明の第1の実施形態における電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図5】

図4の基板処理装置内の電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。

【図 6】

図 5 の平面図である。

【図 7】

図 5 の電解加工装置の再生部を模式的に示す縦断面図である。

【図 8】

電解加工における基板の加工量と基板上の残留段差との関係を示すグラフである。

【図 9】

電解加工において供給する流体の電気伝導度と基板の平坦化特性との関係を示すグラフである。

【図 10】

本発明の第 1 の実施形態における流体の電気伝導度のモニタリング工程を示すフローチャートである。

【図 11】

本発明の第 2 の実施形態における電解加工装置を模式的に示す縦断面図である。

【図 12】

図 11 に示す電解加工装置の要部の拡大図である。

【図 13】

図 11 の電解加工装置の再生部の要部拡大図である。

【図 14】

図 11 の電解加工装置の再生部の変形例を示す要部拡大図である。

【符号の説明】

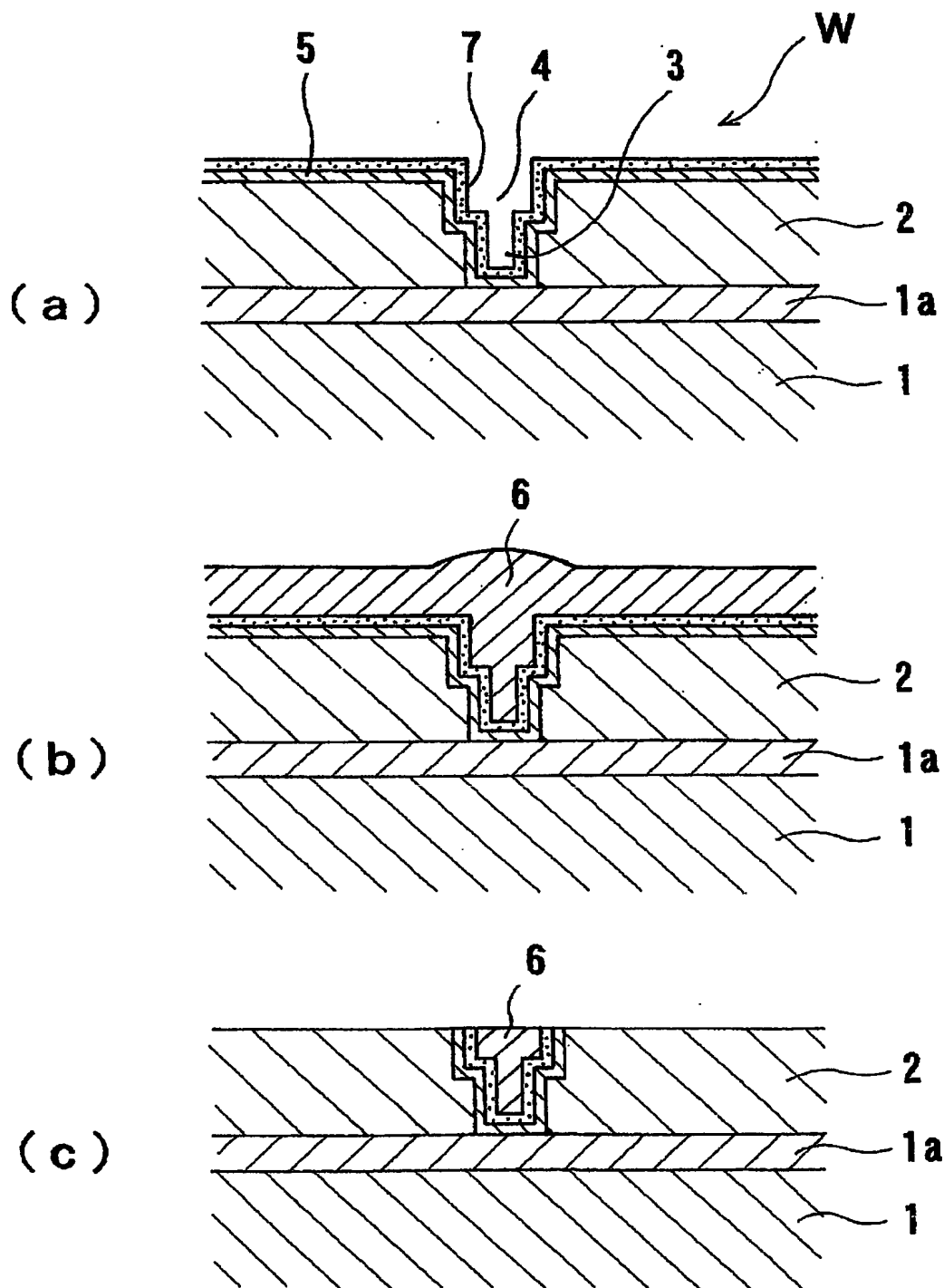
- 6 銅膜（導電体膜）
- 10 ロード・アンロード部
- 12 反転機
- 14, 114 電解加工装置
- 16 搬送ロボット
- 18 モニタ部

20, 54 アーム
22 基板保持部
24 電極部
26 加工用電源
28, 62 揺動用モータ
30, 64 揺動軸
32, 66 ボールねじ
34, 68 上下動用モータ
36 自転用モータ
38 シャフト
40 中空モータ
42 加工電極
44 給電電極
46 イオン交換体
48, 78 スリップリング
50 純水噴射ノズル (流体供給部)
52, 152 再生部
56 再生電極
58 再生電極保持部
60 再生用電源
70, 170 隔壁
72, 172 流路
74, 174, 180 流体供給管
76 流体排出管
80, 186 センサ
82 ケーブル
84 制御部

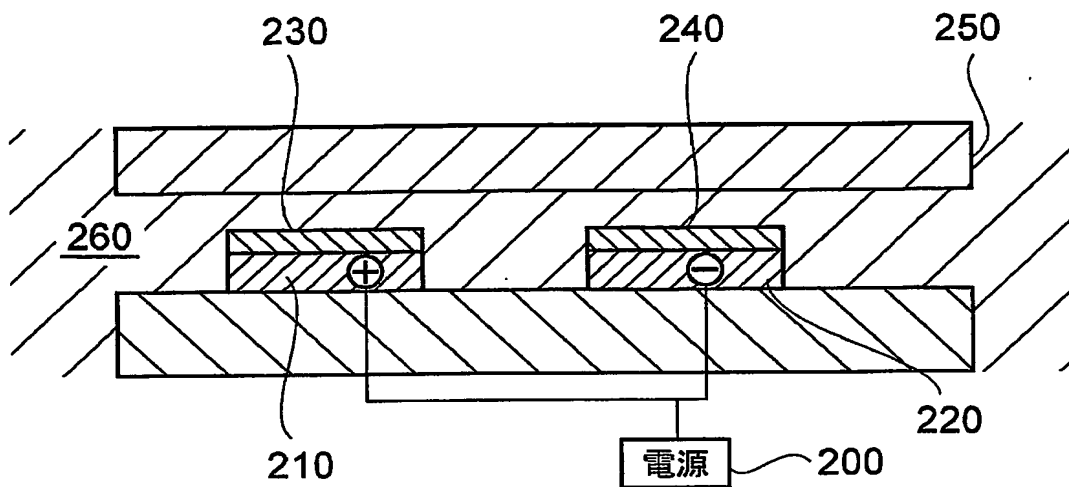
【書類名】

図面

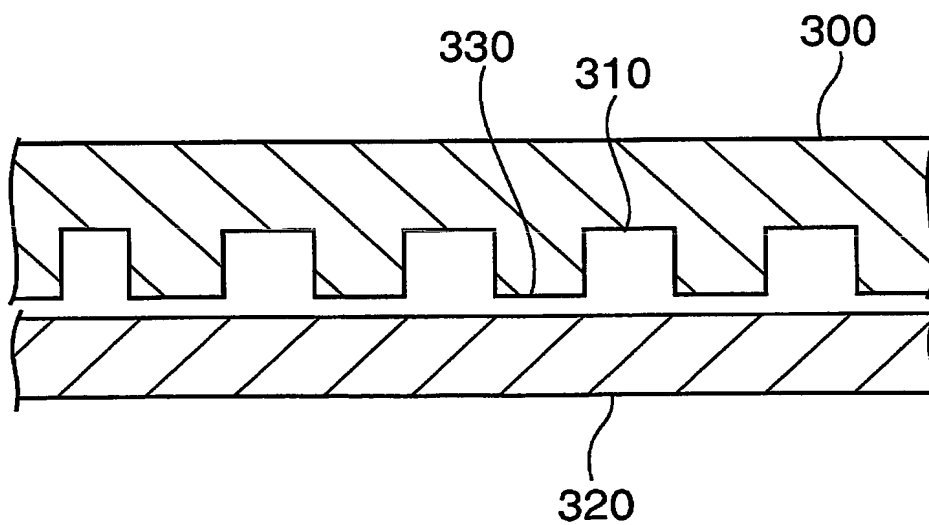
【図 1】



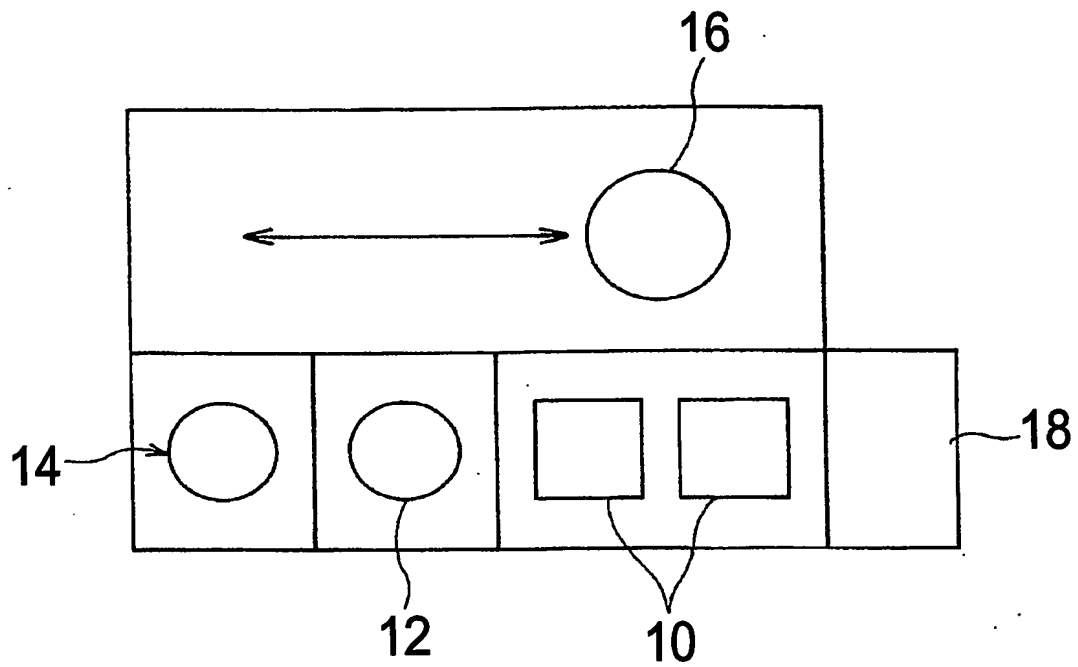
【図 2】



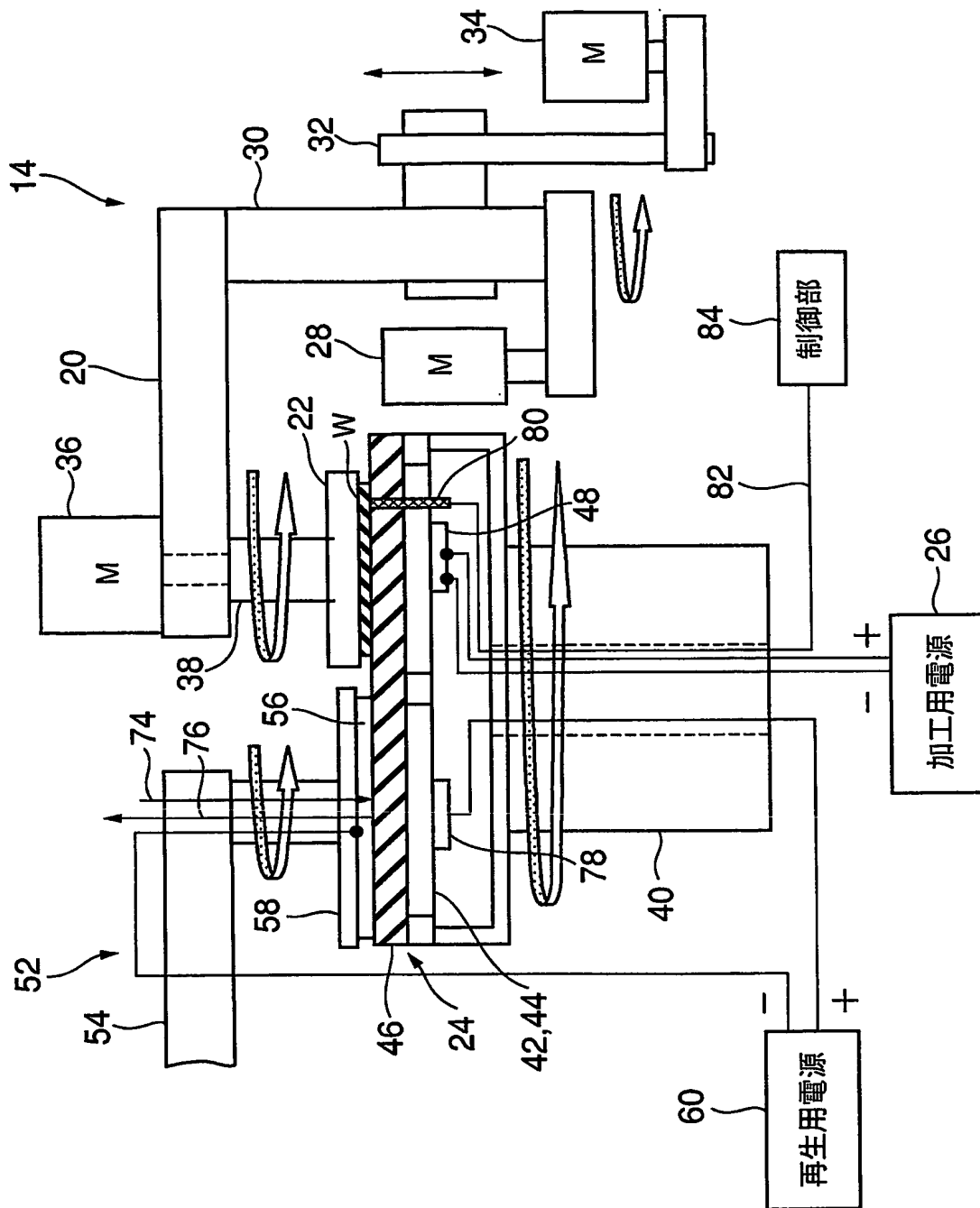
【図 3】



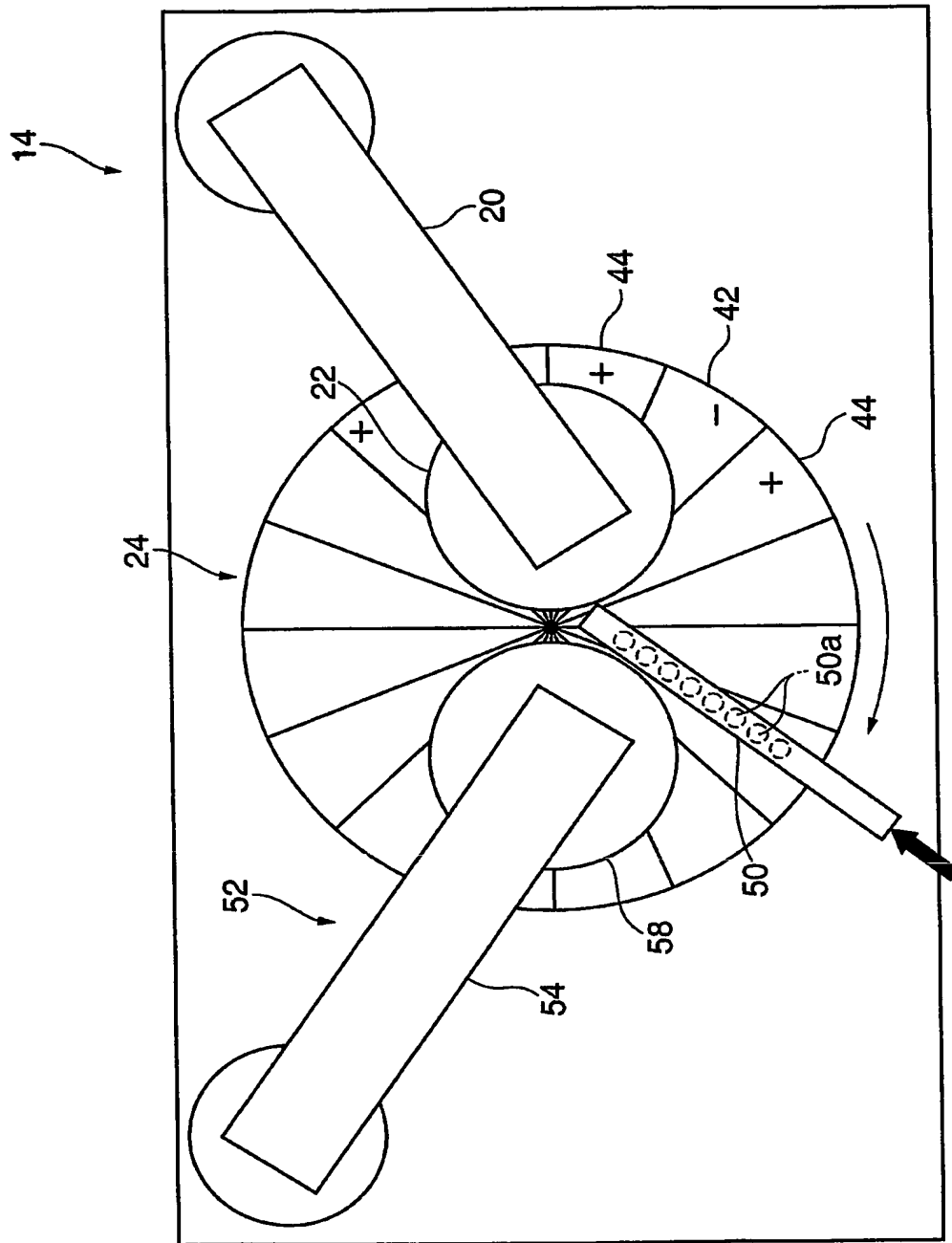
【図 4】



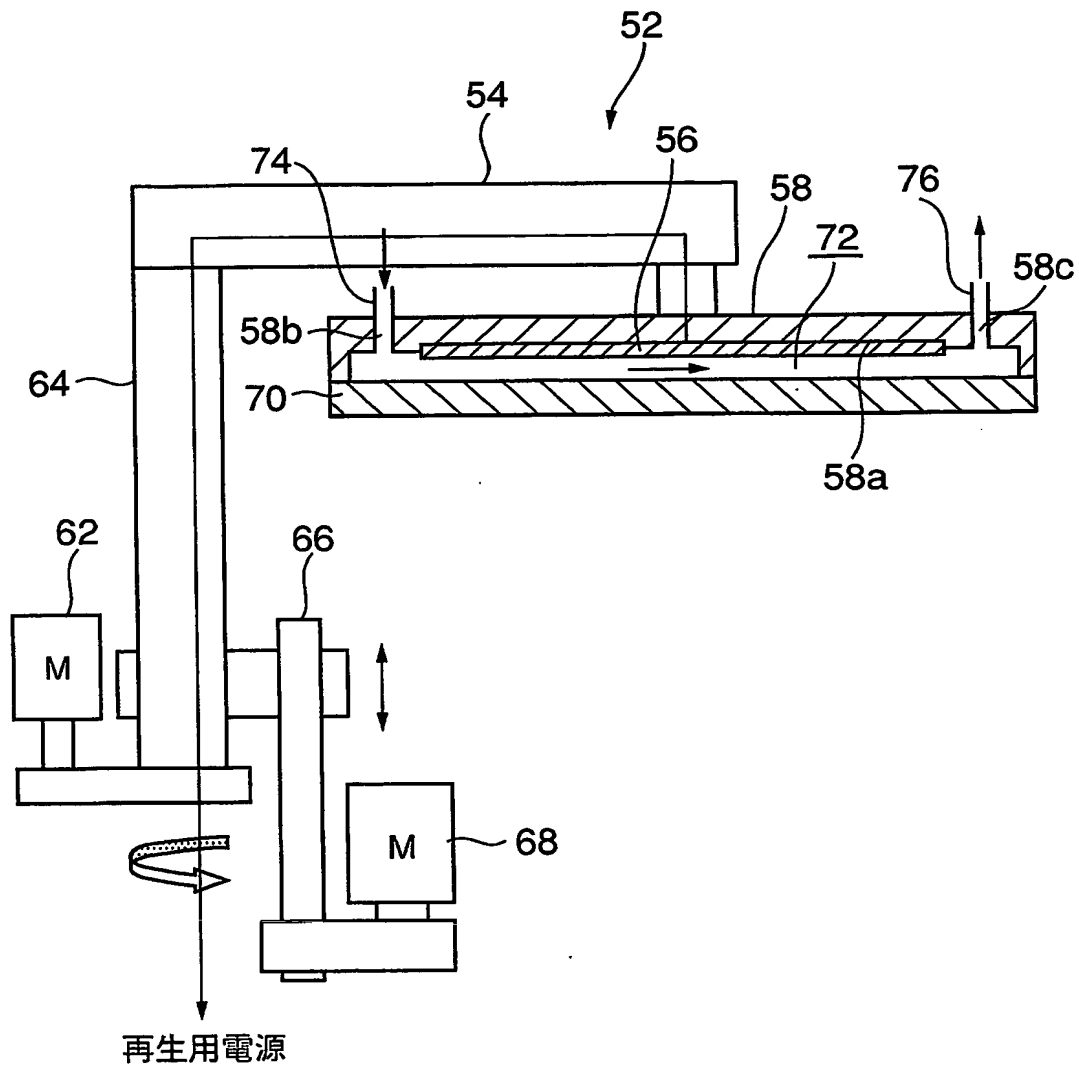
【図 5】



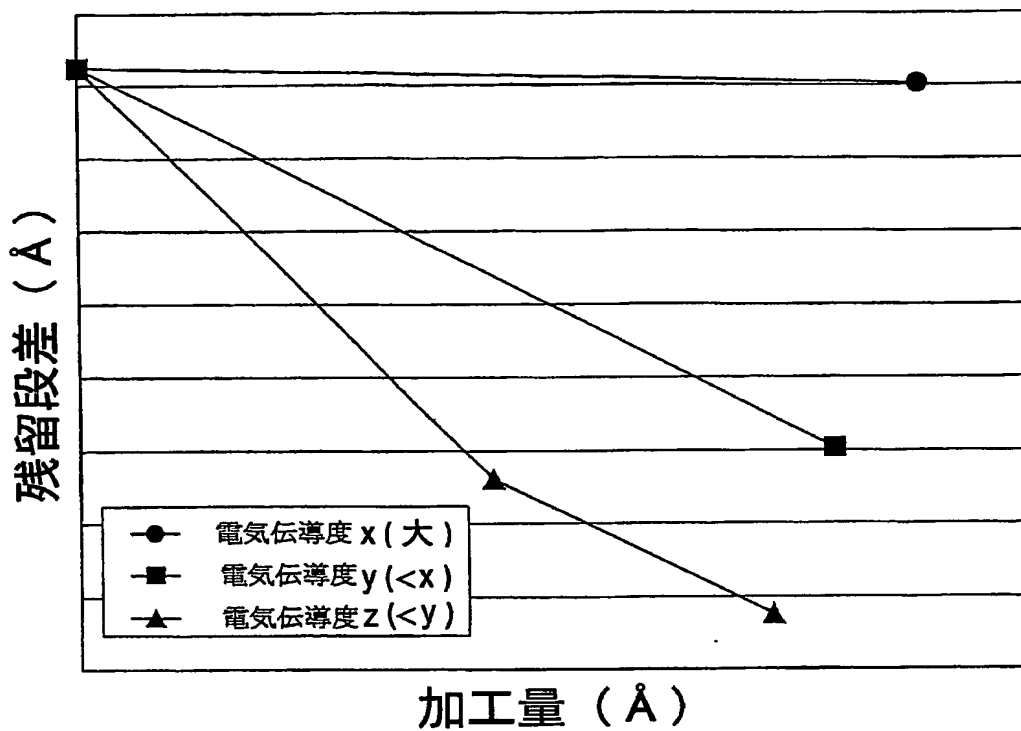
【図 6】



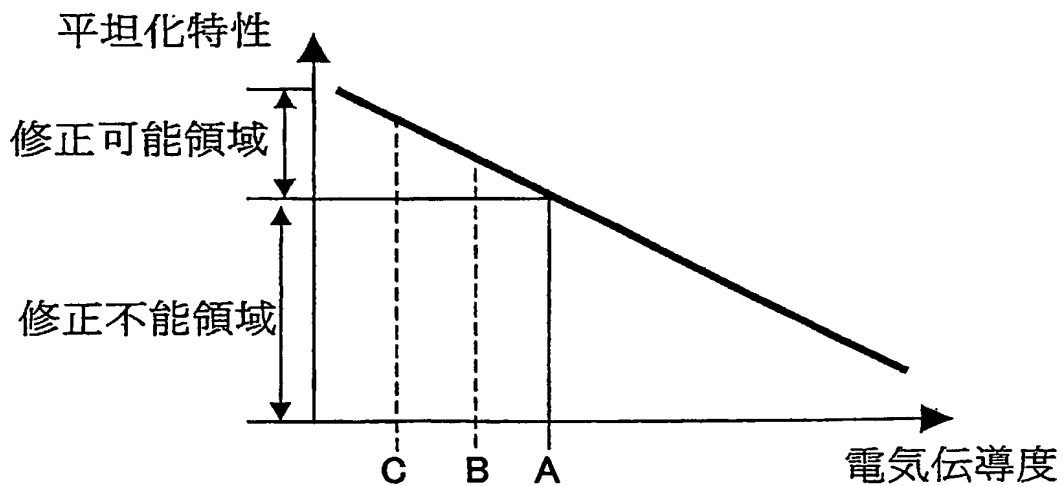
【図 7】



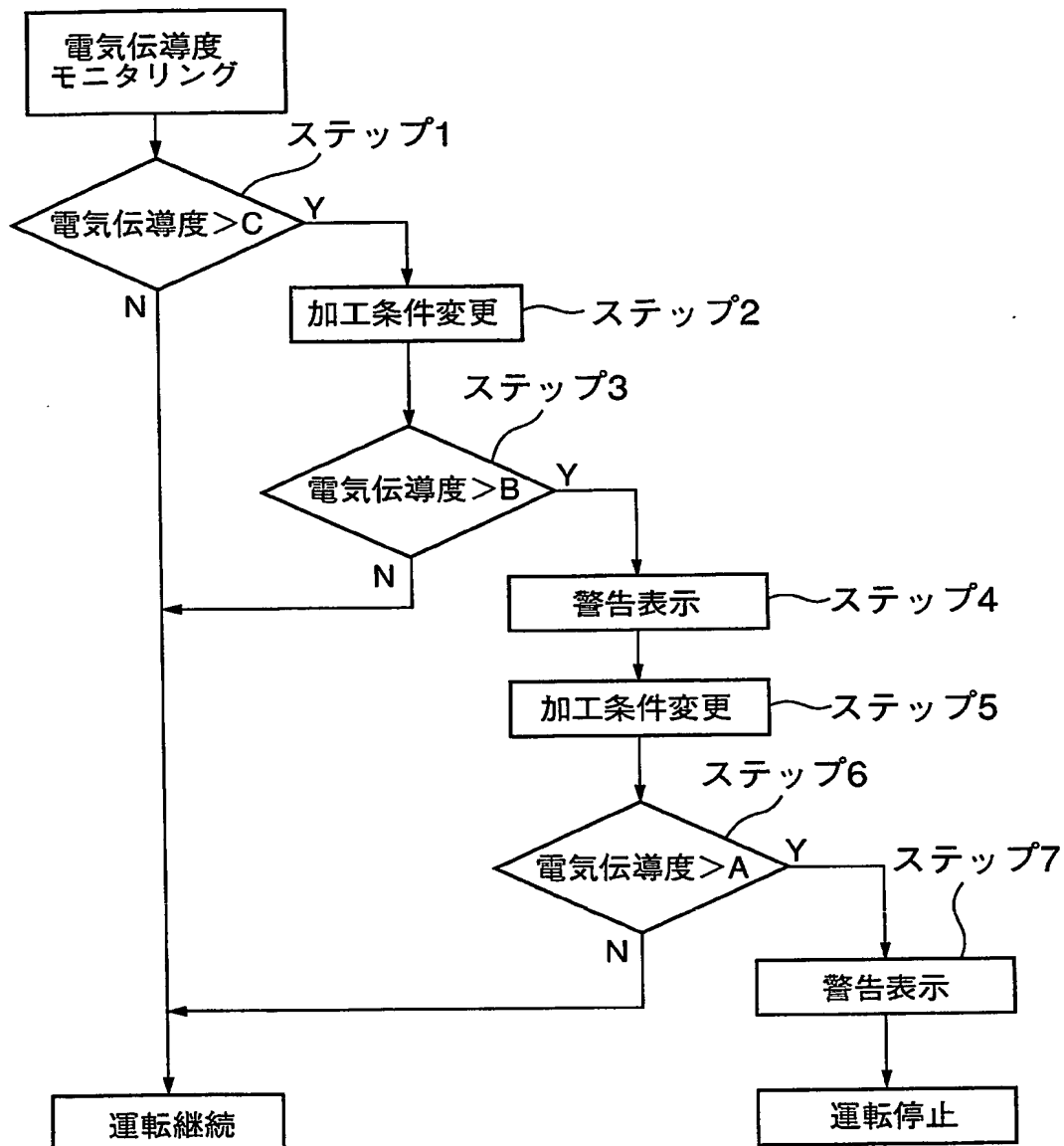
【図 8】



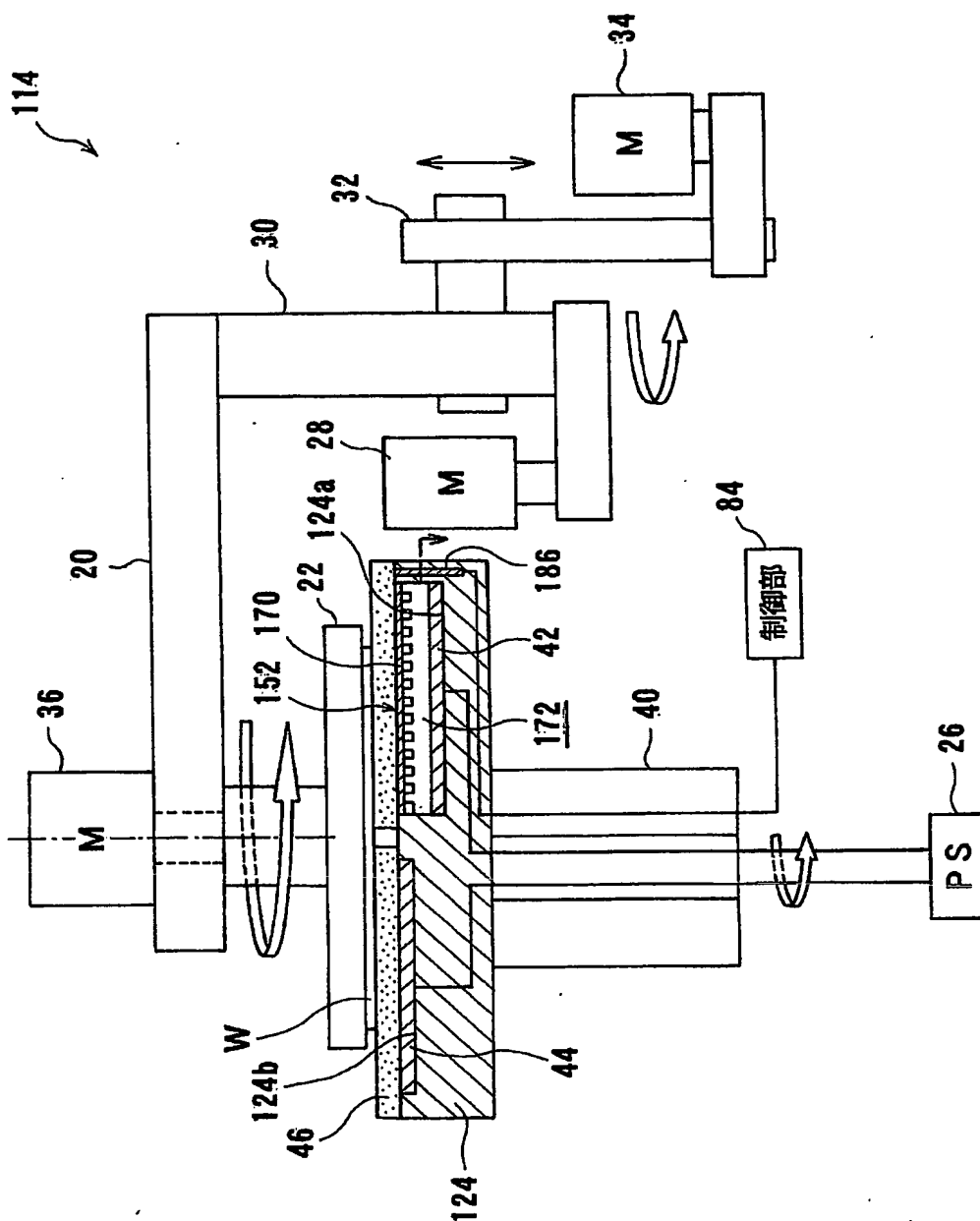
【図 9】



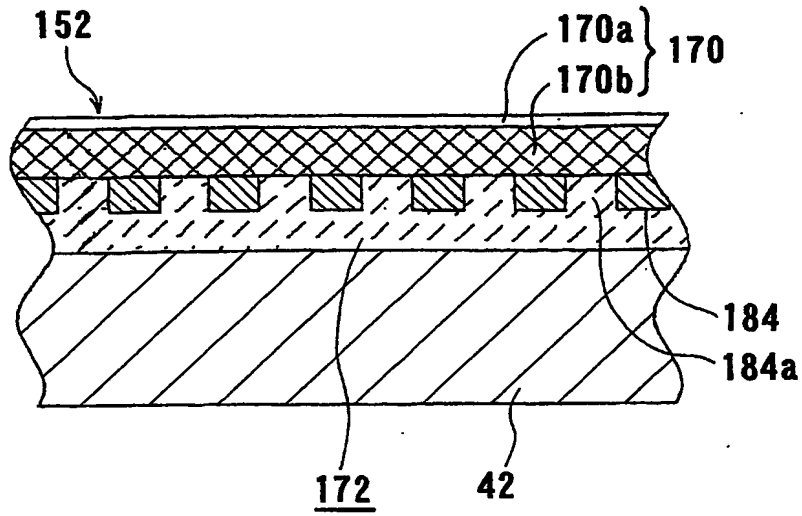
【図 10】



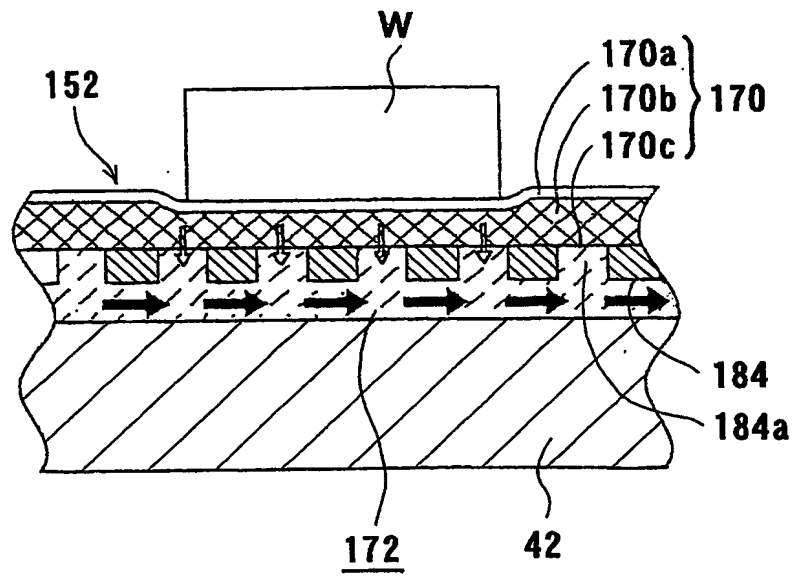
【図 11】



【図 13】



【図 14】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電解加工により生じた加工生成物などの汚染物による流体の電気伝導度の変化を抑え、良好な平坦化作用を維持することができる電解加工方法及び装置を提供する。

【解決手段】 基板Wに近接自在な加工電極42と、基板Wに給電する給電電極44と、基板Wを保持する保持部22と、加工電極42と給電電極44との間に電圧を印加する電源26と、基板Wと加工電極42又は給電電極44の少なくとも一方との間に流体を供給する流体供給部50と、流体の電気伝導度を測定するセンサ80と、センサ80により測定された電気伝導度に基づいて加工条件を変更する制御部84とを備えた。

【選択図】 図5

特願 2 0 0 2 - 3 2 5 9 0 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 0 2 3 9]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 1 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

氏 名

株式会社荏原製作所

2. 変更年月日

2 0 0 3 年 4 月 2 3 日

[変更理由]

名称変更

住所変更

住 所

東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号

氏 名

株式会社荏原製作所